

TRABALHOS PRÁTICOS DE FISILOGIA

Testes históricos para avaliação de parâmetros fisiológicos do exercício e da atividade física



Designed by Freepik

Catarina Pereira, PhD

Jorge Bravo, PhD

Ficha Técnica

Título

Trabalhos Práticos de Fisiologia do Esforço - Testes históricos para avaliação de parâmetros fisiológicos do exercício e da atividade física

Edição

Universidade de Évora

Autores

Catarina Pereira, PhD

Jorge Bravo, PhD

ISBN

978-989-99122-4-3

Évora, Fevereiro de 2018

AGRADECIMENTOS

Os autores desta sebenta agradecem aos seus alunos que, com as sugestões construtivas, muito contribuíram para a qualidade deste documento.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	II
LISTA DE ABREVIATURAS.....	III
LISTA DE UNIDADES DO SISTEMA INTERNACIONAL	IV
INTRODUÇÃO	IV
PROVAS DE RECUPERAÇÃO CARDÍACA APÓS ESFORÇO	7
PROVA DE SKIPPING DE LIAN (1916).....	9
Objetivo	9
Material	9
Protocolo	9
Valores de referência.....	10
PROVA DE FLEXÕES DE PERNAS DE MARTINET (1916)	11
Objetivo	11
Material	11
Protocolo.....	11
Valores de referência.....	12
PROVA DE STEP DE HARVARD (Brouha 1943)	13
Objetivo	13
Material	13
Protocolo.....	13
Valores de referência.....	14
TAREFAS PRÁTICAS.....	16
Prova de Skipping de Lian (1916).....	17
Prova de Flexões de Pernas de Martinet (1916)	18
Prova de Step de Harvard (Brouha 1943)	20
Tabela de resumo	22

Análise crítica.....	22
Síntese	22
PROVAS DE ADAPTAÇÃO CARDÍACA AO ESFORÇO	24
TESTE DE DENOLIN NO CICLOERGÓMETRO	26
Objetivo	26
Material	26
Procedimento.....	26
Protocolo	27
ADAPTAÇÃO DO TESTE DE DENOLIN À PASSADEIRA.....	29
Objetivo	29
Material	29
Procedimento.....	29
Protocolo – Género masculino	30
Protocolo - Género feminino	32
TAREFAS PRÁTICAS	34
Teste de Denolin	34
Adaptação do teste de Denolin à passadeira	39
NOTAS FINAIS	43
REFERÊNCIAS	45
ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Valores de referência para a classificação do nível de aptidão (prova de Lian) -----	10
Tabela 2. Classificação da aptidão em acordo com Brouha -----	15
Tabela 3. Valores dos percentis do teste de <i>Step</i> de Harvard, para uma população jovem com idades compreendidas entre os 18 e 25 anos -----	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de relação entre a frequência cardíaca e a carga de trabalho no cicloergómetro para determinação da FC a 170 bpm -----	36
Figura 2. Gráfico de relação entre a frequência cardíaca e o tempo de prova no cicloergómetro em diferentes intensidades de esforço -----	39
Figura 3. Gráfico de relação entre a frequência cardíaca e a carga de trabalho na passadeira para determinação da FC a 170 bpm -----	41
Figura 4. Gráfico de relação entre a frequência cardíaca e o tempo de prova na passadeira em diferentes intensidades de esforço -----	42

LISTA DE ABREVIATURAS

Bpm – batimentos por minuto

FC – frequência cardíaca

FCmáx – frequência cardíaca máxima

FCrepouso - frequência cardíaca de repouso

FCreserva - frequência cardíaca reserva

PA – pressão arterial

PAS – pressão arterial sistólica

PAD – pressão arterial diastólica

O₂ - oxigénio

VO₂ - consumo de oxigénio

VO₂máx - consumo máximo de oxigénio

W - watts

R - recuperação

LISTA DE UNIDADES DO SISTEMA INTERNACIONAL

Grandeza	Unidade	Símbolo
Comprimento	metros	m
Comprimento	centímetros	cm
Comprimento	milímetros	mm
Tempo	segundos	s
Tempo	minutos	min
Tempo	horas	h
Massa	quilogramas	Kg
Volume	litros	l
Pressão sanguínea	milímetros de mercúrio	mmHg
Potência	watt	W

INTRODUÇÃO

Este livro constitui um guia para a realização de trabalhos práticos de fisiologia do exercício e da atividade física. É o primeiro volume de três livros dedicados ao tema. Este primeiro volume - “Testes Históricos de Avaliação de Parâmetros Fisiológicos do Exercício e da Atividade Física” - procura abordar as bases práticas da fisiologia do esforço e da atividade física, focando protocolos pioneiros de avaliação da aptidão cardiorrespiratória dos indivíduos. O segundo volume – “Testes Laboratoriais para Avaliação do Rendimento” – é dedicado às provas de esforço de várias intensidades, aplicadas em contexto de laboratório, permitindo o diagnóstico da aptidão física dos indivíduos e a consequente programação do treino. O terceiro volume – “Testes de Terreno para Avaliação do Rendimento” – procura igualmente o diagnóstico da aptidão física e consequente programação do treino, embora os procedimentos sejam exclusivamente de terreno, sendo porventura mais específicos para algumas modalidades.

A seleção dos testes a incluir neste livro procura desenvolver competências de utilização de instrumentos e protocolos de medida de parâmetros fisiológicos simples e conhecimentos básicos sobre

alterações fisiológicas decorrentes da adaptação ao esforço com uma fundamentação científica.

As adaptações fisiológicas ao esforço variam consoante a aptidão e a atividade física de cada indivíduo, podendo resultar em adaptações crónicas, quando surgem ao longo do tempo¹, ou agudas, quando surgem imediatamente ou pouco tempo após o esforço². Alguns dos parâmetros fisiológicos em que estas adaptações são mais evidentes são a frequência cardíaca (FC) e o consumo de oxigénio (VO₂), estando estes estreitamente relacionados. O VO₂ e a FC variam com a intensidade de esforço, contudo, um dos fatores que demonstra uma boa adaptação ao esforço, é a capacidade de estabilizar a FC em valores relativamente reduzidos para uma intensidade de esforço elevada.

Um outro método para determinar a aptidão física de um indivíduo é sujeitá-lo a um determinado esforço, avaliando posteriormente o comportamento da FC durante a recuperação.

Seguidamente serão apresentados os protocolos históricos seleccionados para determinação da aptidão cardiorrespiratória dos

¹ semanas, meses, anos

² segundos, minutos, horas

indivíduos, quer através de Provas de Recuperação Cardíaca após Esforço, quer através de Provas de Adaptação Cardíaca ao Esforço.

Após a descrição dos protocolos são propostas tarefas práticas que permitem aplicar os conhecimentos teóricos e adquirir competências na avaliação de parâmetros fisiológicos em humanos.

PROVAS DE RECUPERAÇÃO CARDÍACA APÓS ESFORÇO

A primeira grande evolução nos métodos de avaliação da aptidão física em humanos, surge entre 1914 e 1918, período da primeira grande guerra mundial. Durante este período foi levado a cabo o recrutamento de população masculina para servir os países durante o conflito, sendo pela primeira vez, executadas provas de aferição da aptidão física como método de seleção dos mais aptos (1).

As primeiras provas de aptidão física, com a aplicação de métodos científicos bem definidos, surgiram em 1916 por intermédio de Lian (2) e Martinet (3).

Desde as primeiras provas, os métodos de avaliação da aptidão física em humanos têm suscitado o interesse da comunidade científica, levando a uma evolução de métodos, técnicas e instrumentos. Contudo, esta evolução tardou mais de vinte anos a ser retomada após as primeiras provas de 1916, sobretudo pela ocorrência da segunda guerra mundial (1939-1945), conflito armado que não possibilitou o avanço dos estudos nesta temática. Próximo do final deste conflito surgiu uma das provas com maior aplicação nos anos seguintes, representando um marco na evolução das provas de aptidão física, a Prova de *Step* de Harvard (1943) (4, 5).

Vários estudos têm destacado a validade prognóstica das provas de recuperação cardíaca ao esforço e da taxa de diminuição da FC após a realização de provas de esforço físico (6-8). Embora estudos fisiológicos anteriores tenham sugerido uma rápida recuperação da FC ao exercício, reconhecendo ser um indicador de aptidão física, apenas mais recentemente o seu valor prognóstico foi comprovado, geralmente em 1 ou 2 min após o exercício físico (6).

Neste capítulo iremos abordar as primeiras provas de recuperação cardíaca ao esforço, através da Prova de *Skipping* de Lian (1916), da Prova de Flexões de Pernas de Martinet (1916) e da Prova de *Step* de Harvard (1943).

PROVA DE *SKIPPING* DE LIAN (1916)

A Prova de *Skipping* de Lian (1916) (2), é uma das primeiras provas de avaliação da aptidão dos indivíduos.

Objetivo

Determinar o tempo necessário para a recuperação da FC até aos valores de repouso, após a realização de um exercício standardizado.

Material

- Metrónomo
- Cronómetro

Protocolo

- Fazer a elevação dos joelhos em exercício de *Skipping*.
- A frequência do movimento é de 2 elevações por segundo (metrónomo a 120 bpm).
- A duração da tarefa é de 1 min.
- Fazer a mensuração da FC e do tempo de recuperação, nomeadamente:
- FC prévia ao exercício.

- FC no final do exercício.
- Tempo de recuperação da FC (tempo decorrido até a FC retomar o valor inicial).
- Determinar o incremento da FC (variação: diferença entre a FC no final e no início do exercício).

A classificação da aptidão física é determinada considerando o aumento da FC no final do exercício e, também, o tempo necessário para que ela volte aos valores iniciais de repouso.

Valores de referência

Os valores de referência para classificação da aptidão estão apresentados na tabela seguinte (1).

Tabela 1. Valores de referência para a classificação do nível de aptidão (prova de Lian)

Classificação	Variação da FC	Duração da Recuperação (R)
I— Excelente	FC < 30 bpm	≤ 2 min
II— Bom	FC ≤ 30 bpm	2 min > R > 3 min
III — Médio	30 bpm < FC < 40 bpm	2 min > R > 3 min
IV— Mau	FC > 40 bpm	4 min > R > 5 min
V— Inapto	FC > 40 bpm	R > 5 min ou mais

PROVA DE FLEXÕES DE PERNAS DE MARTINET (1916)

Este teste recorre à medição do tempo de recuperação da FC após um exercício standardizado. Martinet introduziu, também, a medição das variações da Pressão Arterial (PA), sistólica (PAS) e diastólica (PAD) (3).

Objetivo

Determinar o tempo necessário para a recuperação da FC até aos valores de repouso, após a realização de um exercício standardizado.

Material

- Metrónomo

Protocolo

- Efetuar 20 flexões profundas de joelhos obedecendo à frequência do movimento.
- Frequência do movimento: 1 flexão/segundo.
- Fazer a mensuração da FC e da PA.
- FC prévia ao exercício.
- PA prévia ao exercício.
- FC no final do exercício.

- PA no final do exercício.
- Determinar a variação da FC e da PA.

Valores de referência

Os valores para determinação do nível da aptidão consideram o acréscimo da FC e da PA (diferença entre os valores medidos no final do exercício e os valores medidos em repouso). Os valores médios de referência são os seguintes (3):

- Acréscimo da FC:
 - o 15 a 20 bpm
- Acréscimo da PA:
 - o sistólica: 1 mmHg
 - o diastólica: 4 mmHg

A classificação da aptidão diferencia 3 grupos, em função da aproximação ou distanciamento dos parâmetros medidos, aos valores de referência.

- **Bom** - inferiores aos valores de referência.
- **Médio** - dentro dos valores de referência.
- **Mau** - superiores dos valores de referência.

PROVA DE *STEP* DE HARVARD (Brouha 1943)

Este teste recorre à medição do tempo de recuperação da FC após um exercício standardizado. O teste estabelece valores de referência considerando percentis (4, 5).

Objetivo

Determinar o tempo necessário para a recuperação da FC até aos valores de repouso, após a realização de um exercício standardizado.

Material

- Metrónomo
- *Step* de 51 cm para homens e de 46 cm para mulheres

Protocolo

- Subir e descer o *step* (51 cm para o homem e de 46 cm para a mulher).
- A frequência do exercício é de 60 apoios por minuto (metrónomo regulado a 60 bpm).
- A duração máxima aconselhada é de 5 min.
- Após os 5 min de *step* e durante a recuperação fazer a mensuração de:

- ✓ FC1: FC medida entre 1 e 1 min e 30 seg. de recuperação
- ✓ FC2: FC medida entre 2 e 2 min e 30 seg. de recuperação
- ✓ FC3: FC medida entre 3 e 3 min e 30 seg. de recuperação.
- Determinar o índice estabelecido por Brouha (1973) usando as mensurações na seguinte fórmula (4, 5):

$$I = \frac{T \times 100}{2(FC1 + FC2 + FC3)}$$

T: tempo real do exercício (segundos)

Valores de referência

A classificação do nível de aptidão considera o índice calculado usando a formula de Brouha (1973) em contraposição com os valores de referência apresentados na tabela 2 (4, 5).

Tabela 2. Classificação da aptidão em acordo com Brouha

Classificação	Índice I
I — Inapto	< 55
II — Aptidão média	55 - 64
III — Boa aptidão	65 - 79
IV—Muito boa aptidão	80 - 89
V — Excelente condição	> 90

Foram também estabelecidos os percentis (tabela 3), considerando a população Belga, nomeadamente, considerando estudantes de educação física com idades compreendidas entre os 18 e os 25 anos (9).

Tabela 3. Valores dos percentis do teste de *Step* de Harvard, para uma população jovem com idades compreendidas entre os 18 e 25 anos

Percentis	Rapazes	Raparigas
P1	44.00	18.00
P5	44.00	23.00
P10	51.00	39.00
P20	69.00	38.00
P30	77.00	46.00
P40	84.00	70.00
P50	89.00	73.00
P60	90.00	77.00
P70	91.00	83.00
P80	92.00	84.00
P90	92.00	91.00
P95	99.00	111.00
P99	99.00	111.00

TAREFAS PRÁTICAS

1. Realizar os testes.
2. Calcular os índices.
3. Construir uma tabela com os resultados de cada teste e a respectiva classificação.
4. Fazer uma análise crítica dos resultados obtidos.
5. Fazer uma síntese por tópicos dos principais conceitos e questões chave associados ao tema.

Lian (1916)

Martinet (1916)

Brouha (1943)

Tarefas Práticas

Prova de *Skipping* de Lian (1916)

Resultados:

- Indivíduo: _____
- Idade: _____
- Massa (Kg): _____
- Data: ____/____/____
- Hora: _____
- FC prévia ao exercício (bpm): _____
- FC no final do exercício (bpm): _____
- Variação de FC (bpm): _____
- Tempo de recuperação da FC (s): _____
- Classificação:

Lian (1916)

Martinet (1916)

Brouha (1943)

Tarefas Práticas

Prova de Flexões de Pernas de Martinet (1916)

Resultados:

- Indivíduo: _____
- Idade: _____
- Massa (Kg): _____
- Data: ____/____/____
- Hora: _____
- FC prévia ao exercício (bpm): _____
- FC no final do exercício (bpm): _____
- PAS prévia ao exercício (mmHg): _____
- PAS no final do exercício (mmHg): _____
- PAD prévia ao exercício (mmHg): _____
- PAD no final do exercício (mmHg): _____
- Variação da FC (bpm): _____
- Variação da PAS (mmHg): _____
- Variação da PAD (mmHg): _____

Lian (1916)

Martinet (1916)

Brouha (1943)

Tarefas Práticas

- Classificação:

Lian (1916)

Martinet (1916)

Brouha (1943)

Tarefas Práticas

Prova de Step de Harvard (Brouha 1943)

Determinar o resultado do teste usando a medição da FC manual (como é expresso na descrição do protocolo) e usando a medição da FC com o cardiofrequencímetro.

Resultados:

- Indivíduo: _____
- Idade: _____
- Massa (Kg): _____
- Data: ____/____/____
- Hora: _____
- T: tempo do exercício(s): _____

	FC manual	FC Frequencímetro
FC1:	_____bpm	_____bpm
FC2:	_____bpm	_____bpm
FC3:	_____bpm	_____bpm

$$I = \frac{T \times 100}{2(FC1 + FC2 + FC3)}$$

Lian (1916)

Martinet (1916)

Brouha (1943)

Tarefas Práticas

- Classificação:

Lian (1916)

Martinet (1916)

Brouha (1943)

Tarefas Práticas

Tabela de resumo

Tabela com os resultados de cada teste e a classificação obtida em cada um dos mesmos.

Prova	Classificação
Lian (1916)	
Martinet (1916)	
Brouha (1943)	

Análise crítica

Síntese

Lian (1916)

Martinet (1916)

Brouha (1943)

Tarefas Práticas

PROVAS DE ADAPTAÇÃO CARDÍACA AO ESFORÇO

As provas de adaptação cardíaca ao esforço aqui apresentadas, refletem uma evolução do conhecimento científico relativamente às provas de recuperação cardíaca após o esforço (2-4).

A FC e consumo de oxigénio (VO_2) são as variáveis de utilização mais comum nas provas de adaptação cardíaca ao esforço (10, 11). Estão bem suportadas as evidências que relatam o aumento conjunto da FC e do VO_2 , com o aumento da intensidade do esforço físico, estabelecendo-se, nesta condição, uma relação linear entre o aumento do VO_2 e da FC (12).

A determinação do VO_2 previsto pode ser efetuada através de extrapolação, pela relação entre a FC máxima ($\text{FC}_{\text{máx}}$) - que pode ser predita em função de características do indivíduo, como seja a idade - e o VO_2 . Surpreendentemente, apesar de ter sido durante muitos anos a fórmula mais utilizada para a extrapolação da $\text{FC}_{\text{máx}}$, a fórmula $\text{FC}_{\text{máx}} = (220 - \text{idade})$ terá resultado de uma estimativa superficial realizada a partir de um estudo observacional que procurou relacionar de forma linear dados de atividade física e de doença cardíaca coronária, em 1971 (13).

As provas de esforço envolvem usualmente a medição das respostas da FC a uma intensidade de esforço padronizada, possibilitando a determinação direta e indireta da FC_{máx} e do VO₂_{máx}. Contudo, neste capítulo iremos abordar exclusivamente a adaptação da FC ao esforço, através da análise do seu comportamento durante a realização dos testes de Denolin (14), quer no cicloergómetro, quer na passadeira.

TESTE DE DENOLIN NO CICLOERGÓMETRO

Este teste criou procedimentos que permitem determinar a capacidade de trabalho no cicloergómetro a uma FC determinada.

Objetivo

O teste de Denolin (14), pretende determinar a intensidade do esforço necessária (valor da carga) para um atleta atingir e estabilizar a sua FC de trabalho a 170 bpm.

Material

- Cicloergómetro
- Metrónomo
- Cronómetro
- Cardíofrequencímetro

Procedimento

- Previamente ao teste, é aconselhável realizar um pequeno aquecimento (cerca de 4 min).
- O teste de Denolin decorre no cicloergómetro em três estádios sucessivos com a duração de 6 min cada. No primeiro estádio a

carga é de 50w (300 kg.m.min⁻¹). Em cada novo estágio aumenta-se a carga no valor de 50w (300 kg.m.min⁻¹).

- Terminado o teste é recomendada a realização de um período de repouso ativo (cerca de 2 min).

Protocolo

Medições do protocolo original:

- Registrar a FC em repouso.
- Regulação da altura do assento para o indivíduo.
- Regulação do metrônomo fixando a RPM para 60 ciclos por min.
- Regular a carga para 50 w (300 kg.m.min⁻¹)
- Iniciar o teste.
- Ao 6º min registrar a FC e aumentar a carga para 100w (600 kg.m.min⁻¹)
- Ao 12º min registrar a FC e aumentar a carga para 150 w (900 kg.m.min⁻¹)
- Terminar o teste ao 18º min e registrar a FC.

- **Atenção:** se necessário - caso a FC não tenha atingido os 170 bpm - efetuar mais um estágio de 6 min aumentando a carga para 200w (1200 kg.m.min⁻¹).

Medições adicionais:

- Registrar a FC no final do min 1 e do min 2 do período de aquecimento.
- Registrar a FC minuto a minuto durante o teste.
- Registrar a FC no final de cada minuto do período de repouso ativo (2 min).
- Registrar a FC no final de cada minuto, dos 2 min seguintes ao período de repouso ativo, correspondendo ao período de repouso passivo.

ADAPTAÇÃO DO TESTE DE DENOLIN À PASSADEIRA

Este teste criou procedimentos que permitem determinar a capacidade de trabalho na passadeira a uma FC determinada.

Objetivo

Este teste pretende determinar qual é a intensidade do esforço necessária (valor da carga definida pela velocidade ou pela inclinação da passadeira) para o atleta atingir e estabilizar a sua FC de trabalho a 170 bpm.

Material

- Passadeira
- Cronómetro
- Cardíofrequencímetro.

Procedimento

- Previamente ao teste, é aconselhável realizar um pequeno aquecimento de 4 min (2 min a 5 km/h e 2 min a 6 km/h).
- Terminado o teste é recomendado a realização de um período de alguns minutos de repouso ativo (cerca de 2 min).

Protocolo – Género masculino

A aplicação do teste Denolin na passadeira decorre em três estádios sucessivos com a duração de 6 min cada. No primeiro estádio a carga é de 8 km/h. Em cada novo estádio aumenta-se a carga no valor de 1 km/h.

Medições do protocolo original:

- Registrar a FC de repouso
- Regulação da velocidade para 8 km/h durante 6 min.
- Iniciar o teste
- Ao 6º min registar a FC e aumentar a velocidade para 9 km/h.
- Ao 12º min Registrar a FC e aumentar a velocidade para 10 km/h.
- Se a FC não atingir os 170 bpm tem de efetuar mais 6 min com a velocidade a 11 km/h.
- Terminar o teste ao 18º min e registar a FC.
- **Atenção:** se necessário - caso a FC não tenha atingido os 170 bpm - efetuar mais um estágio de 6 min aumentando a velocidade para 12 km/h.

Medições adicionais:

- Registrar a FC no final do minuto 1 e do minuto 2 do período de aquecimento.
- Registrar a FC minuto a minuto durante o teste.
- Registrar a FC no final de cada minuto do período de repouso ativo (2 min).
- Registrar a FC no final de cada minuto, dos 2 min seguintes ao período de repouso ativo, correspondendo ao período de repouso passivo.

Protocolo - Género feminino

A aplicação do teste Denolin na passadeira decorre em três estádios sucessivos com a duração de 6 min cada. No primeiro estádio a carga é de 7km/h. Em cada novo estádio aumenta-se a carga no valor de 1km/h.

Medições do protocolo original:

- Registrar a FC de repouso
- Regulação da velocidade para 7km/h durante 6min.
- Iniciar o teste
- Ao 6º min registrar a FC e aumentar a velocidade para 8km/h.
- Ao 12º min Registrar a FC e aumentar a velocidade para 9km/h.
- Se não atingir os 170 bpm tem de efetuar mais 6min com a velocidade a 10 km/h.
- Terminar o teste ao 18º min e registrar a FC.
- **Atenção:** se necessário - caso a FC não tenha atingido os 170 bpm - efetuar mais um estágio de 6 min aumentando a velocidade para 11 km/h.

Medições adicionais:

- Registrar a FC no final do minuto 1 e do minuto 2 do período de aquecimento.
- Registrar a FC minuto a minuto durante o teste.
- Registrar a FC no final de cada minuto do período de repouso ativo (2 min).
- Registrar a FC no final de cada minuto, dos 2 min seguintes ao período de repouso ativo, correspondendo ao período de repouso passivo.

TAREFAS PRÁTICAS

1. Tarefa fundamental: aplicar os protocolos e analisar os resultados.
2. Tarefa adicional: realizar as recolhas complementares durante os testes e analisar os resultados. Para efetuar a tarefa adicional necessita de registar a FC minuto a minuto durante o teste e, também, no aquecimento e na recuperação.
3. Efetuar uma síntese por tópicos, dos principais conceitos e questões chave associados ao tema de trabalho.

Teste de Denolin**Tarefa fundamental**

- Aplicar o protocolo e analisar os resultados

Resultados:

- 6º min FC _____ bpm
- 12º min FC _____ bpm
- 18º min FC _____ bpm

Determinar a carga de trabalho para a FC a 170 bpm com a utilização do gráfico (Figura 1).

- Assinalar no gráfico a FC registada no final de cada estágio em cada uma das intensidades de esforço (carga) e unir os pontos desenhando uma linha ajustada.
- Traçar uma segunda linha vertical que intercepta a primeira no ponto onde a FC é igual a 170.
- Carga de Trabalho (a FC=170bpm) = _____ w

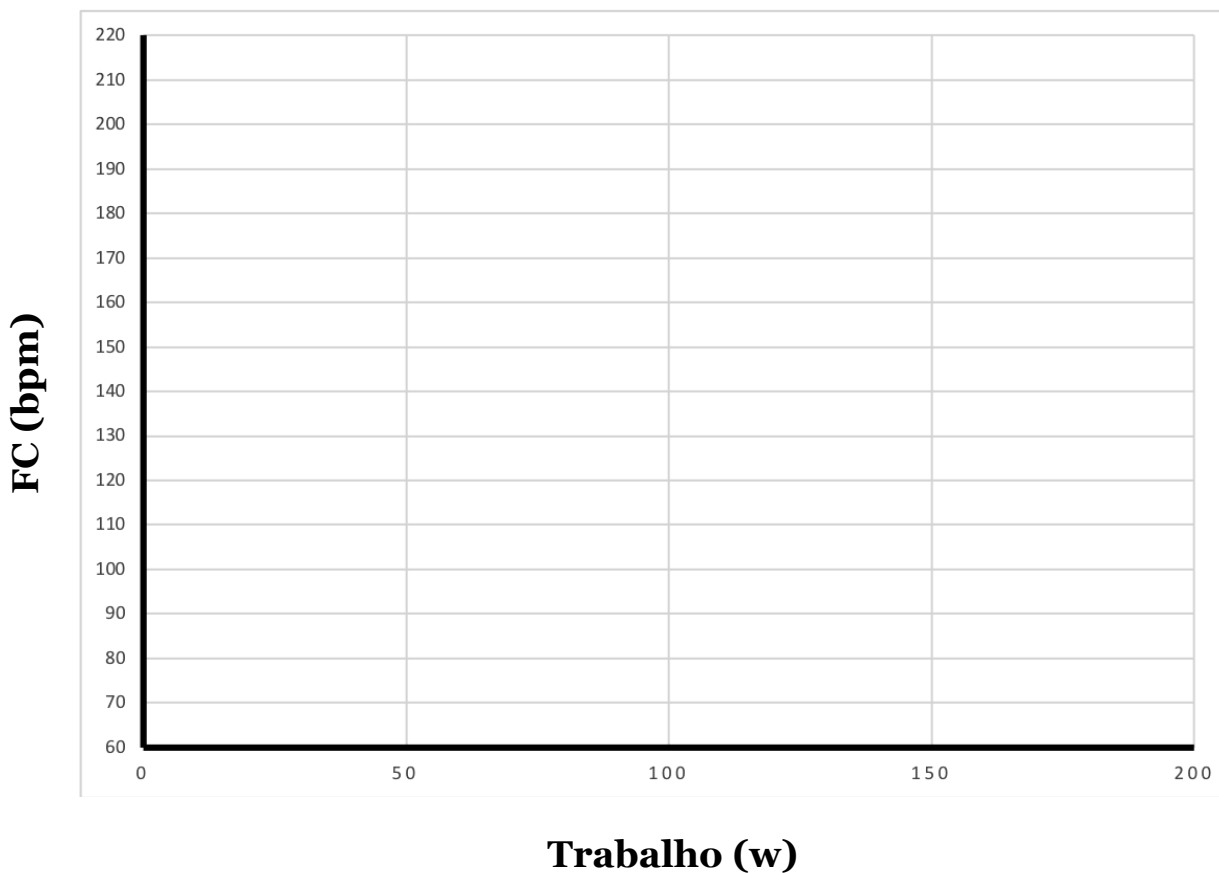


Figura 1 - Gráfico de relação entre a frequência cardíaca e a carga de trabalho no cicloergómetro para determinação da FC a 170 bpm.

Determinar qual a percentagem da FC_{máx} e a qual a percentagem da FC_{reserva} para um esforço realizado com uma FC de 170 bpm e com carga correspondente no cicloergómetro.

- FC_{máx.} = _____ bpm (consultar o artigo anexo para determinar a FC máxima)
- FC = 170 bpm \Leftrightarrow X% FC_{máx}: X = _____%
- FC_{repouso} = _____ bpm
- FC_{reserva} = _____ bpm
- FC = 170 bpm \Leftrightarrow X% FC_{reserva}; X = _____%

Tarefa adicional

- Complementarmente, durante o aquecimento, durante o teste e nos 4 min seguintes ao termino da prova (2 min repouso ativo mais 2 min repouso passivo), retirar a FC minuto a minuto.
- Fazer o registo das FC no gráfico a cada minuto e assinalar no gráfico os pontos de aumento da carga.

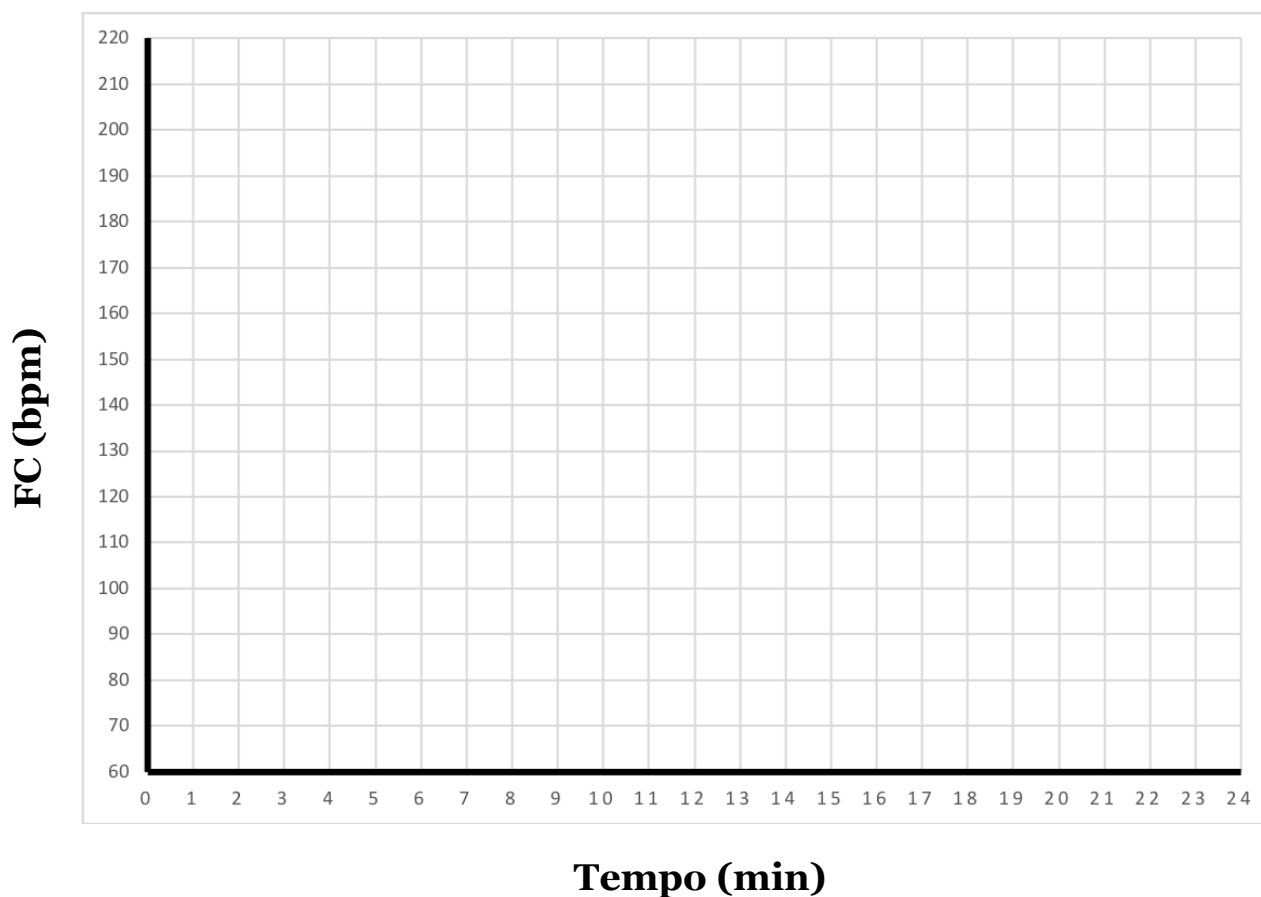


Figura 2 - Gráfico de relação entre a frequência cardíaca e o tempo de prova no cicloergómetro em diferentes intensidades de esforço.

- Analisar a resposta da da FC:

Adaptação do teste de Denolin à passadeira

Tarefa fundamental

- Aplicar o protocolo e analisar os resultados

Registo de resultados

- 6^o min FC _____ bpm
- 12^o min FC _____ bpm
- 18^o min FC _____ bpm

Determinar a carga de trabalho para a FC a 170 bpm com a utilização do gráfico.

- Assinalar no gráfico a FC registada no final de cada estágio em cada uma das intensidades de esforço (carga) e unir os pontos desenhando uma linha ajustada.
- Traçar uma segunda linha vertical que intercepta a primeira no ponto onde a FC é igual a 170.
- Carga de Trabalho (a FC=170bpm) = _____ **km/hora**

Provas de Adaptação Cardíaca ao Esforço

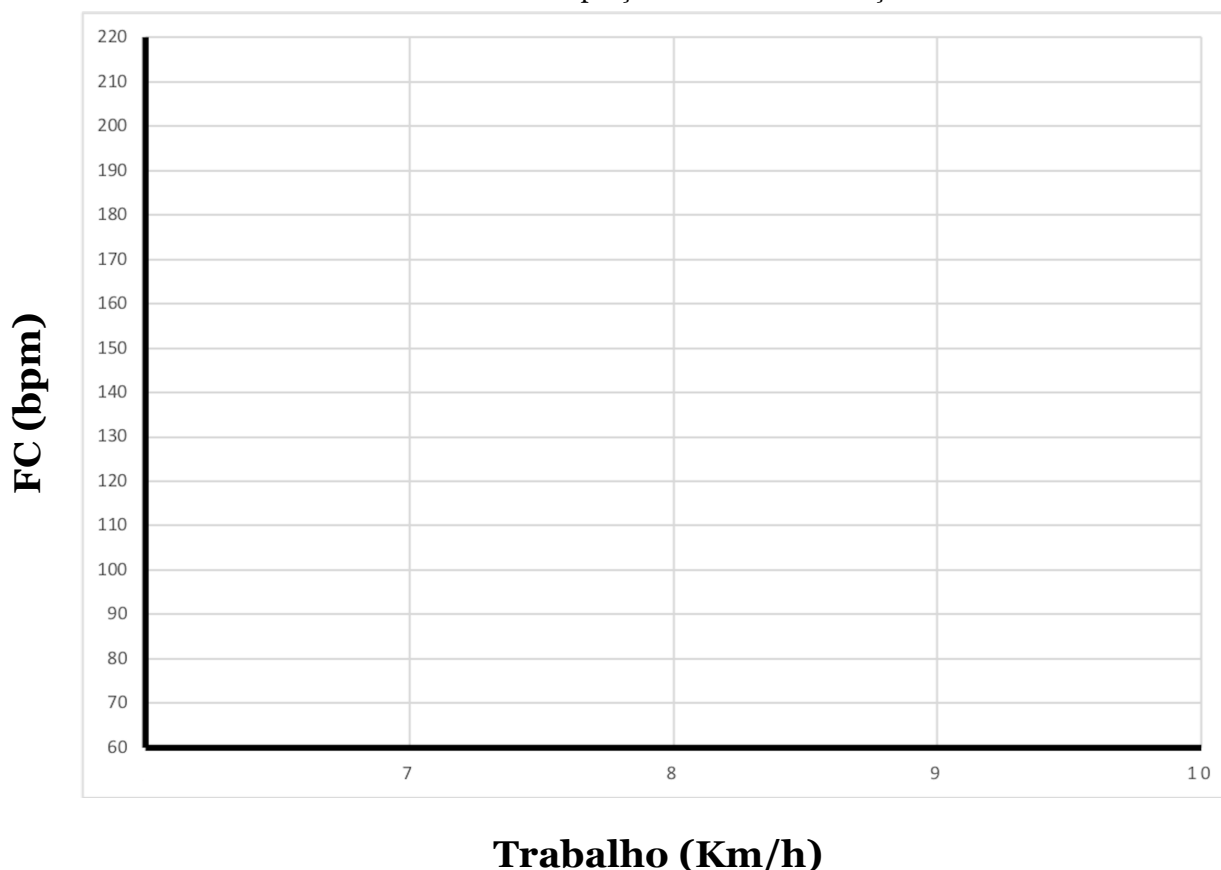


Figura 3 - Gráfico de relação entre a frequência cardíaca e a carga de trabalho na passadaeira para determinação da FC a 170 bpm.

Determinar qual a percentagem da FC_{máx} e a qual a percentagem da FC_{reserva} para um esforço realizado com uma FC de 170 bpm e com carga correspondente no na passadaeira.

- FC_{máx} = _____ bpm (consultar o artigo anexo para determinar a FC máxima)
- FC = 170 bpm \Leftrightarrow X% FC_{máx}; X = _____%
- FC_{repouso} = _____ bpm
- FC_{reserva} = _____ bpm
- FC = 170 bpm \Leftrightarrow X% FC_{reserva}; X = _____%

Tarefa adicional

- Complementarmente, durante o aquecimento, durante o teste e nos 4 min seguintes (2 min repouso ativo mais 2 min repouso passivo), retirar a FC minuto a minuto.
- Fazer o registo das FC no gráfico a cada minuto e assinalar no gráfico os pontos de aumento da carga.

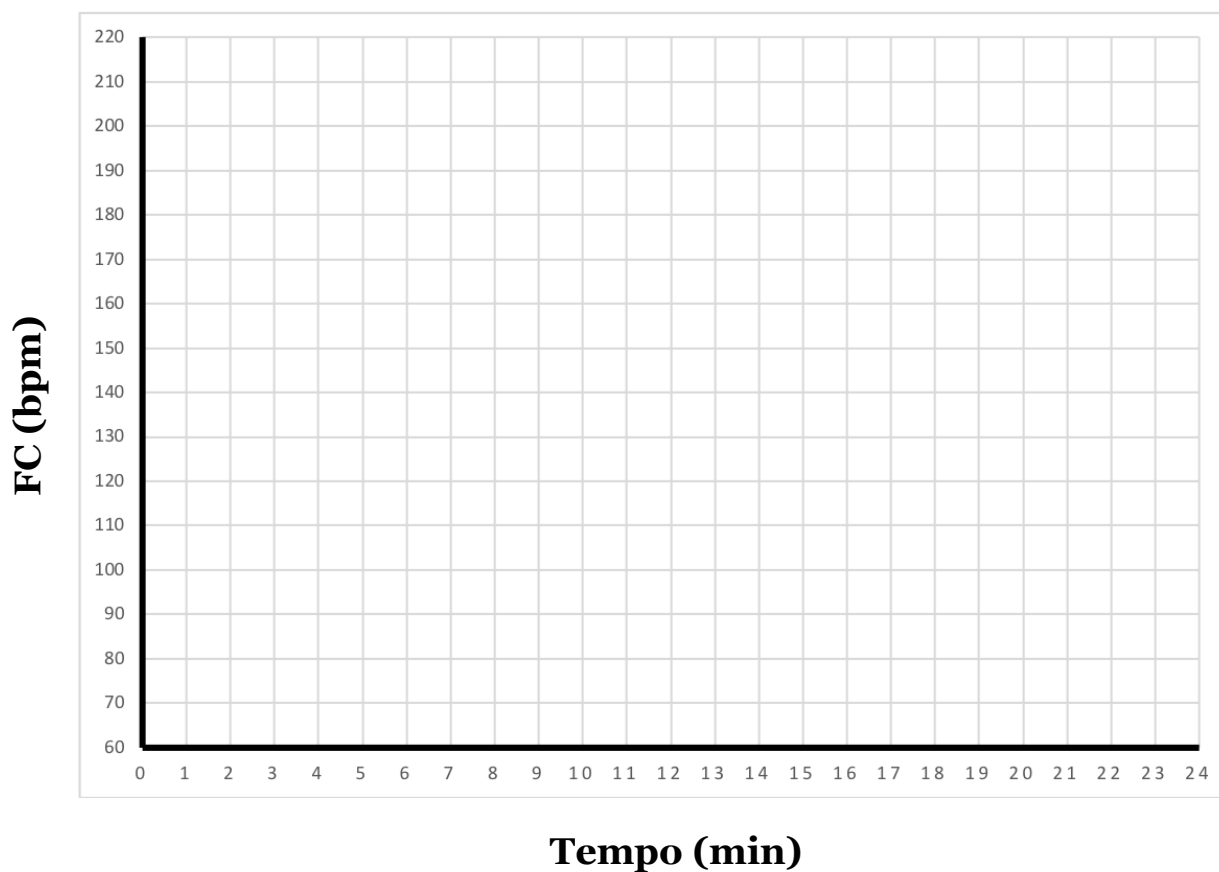


Figura 4 - Gráfico de relação entre a frequência cardíaca e o tempo de prova na passada em diferentes intensidades de esforço.

- Analisar a resposta da da FC:

Denolin Cicloergómetro

Denolin Passadeira

Tarefas Práticas

NOTAS FINAIS

As provas de recuperação cardíaca após esforço apresentam-se como uma opção válida para determinar a aptidão física de um indivíduo, porém admitindo as seguintes limitações:

- Os resultados dos testes históricos abordados são pouco precisos.
- Todos os testes fazem referência a uma população que nem é geral nem específica, apresentando os resultados de forma qualitativa, através de uma classificação de 3 a 5 categorias.
- As classificações qualitativas, quando analisadas de um ponto de vista estatístico, não permitem uma comparação entre indivíduos de uma mesma categoria.
- Todas as técnicas empregues permitem, quanto muito, uma difícil comparação.
- Os testes permitem determinar os indivíduos inaptos, porém, não apresentam nenhum critério comum para definir os limites de inaptidão.

- A duração da recuperação da FC ao esforço não apresenta correlação com a capacidade de realização de um exercício maximal.

Da mesma forma, as provas de adaptação cardíaca ao esforço, apesar de apresentarem vantagens relativamente à facilidade de aplicação dos procedimentos, apresentam as seguintes limitações:

- A margem de erro de determinação da capacidade aeróbia ronda os 20% (1).
- Quando aplicada a populações mais aptas, torna-se difícil atingir a FC determinada durante os estágios propostos.
- Os materiais necessários para a aplicação dos protocolos, concretamente o cicloergómetro e a passadeira, podem representar um impedimento financeiro para alguns estudos.

Todos os testes abordados neste livro, apesar das diversas limitações, permitem contrastar os métodos de medição manuais com os métodos de medição tecnológicos, o que acreditamos ser uma boa abordagem inicial às bases da fisiologia do exercício e da atividade física.

REFERÊNCIAS

1. Vogelaere P, Balaguer N. Aptitud física y técnicas de medición. Apunts Medicina de l' Esport (Castellano). 1982;19(075):157-67.
2. Lian C. Epreuve d'aptitude Physique á l'effort. Presse Médicale. 1916(24): 563-7.
3. Martinet A. Épreuve fonctionnelle circulatoire. Appréciation de la puissance de réserve du cœur. Presse médicale. 1916;117:223-45.
4. Brouha L. The step test: A simple method of measuring physical fitness for muscular work in young men. Research Quarterly American Association for Health, Physical Education and Recreation. 1943;14(1):31-7.
5. Brouha L, Health C, Graybiel A. Step Test Simple Method of Measuring Physical Fitness for Hard Muscular Work in Adult Men. Reviews of Canadian Biology. 1943;2:86.
6. Nishime EO, Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Lauer MS. Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG. Jama. 2000;284(11):1392-8.
7. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. New England Journal of Medicine. 1999;341(18):1351-7.
8. Cole CR, Foody JM, Blackstone EH, Lauer MS. Heart rate recovery after submaximal exercise testing as a predictor of mortality in a cardiovascularly healthy cohort. Annals of internal medicine. 2000;132(7):552-5.
9. Borms J, Hebbelinck M. Profiles of Physical Education Teachers and students Lab. of Human Biometry and movement analysis. Vrije Universiteit, Brussel. 1977.

10. Montoye HJ, Ayen T, Washburn RA. The Estimation of $\dot{V}O_{2\max}$ from Maximal and Sub-Maximal Measurements in Males, Age 10–39. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 1986;57(3):250-3.
11. Wyndham C. Submaximal tests for estimating maximum oxygen intake. *Canadian medical association journal*. 1967;96(12):736.
12. Astrand P-O. Experimental studies of physical work capacity in relation to sex and age. Dissertation. 1952.
13. FOX III S. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann Clin Res*. 1971;3:404-32.
14. Degre S, Denolin H. Study of physical fitness by determination of heart rate during exertion and during the recovery period. *Acta cardiologica*. 1965;20:17.

ANEXOS

Prediction of Maximal Heart Rate

1

JEPonline
Journal of Exercise Physiology**online**

Official Journal of The American
Society of Exercise Physiologists (ASEP)

ISSN 1097-9751
An International Electronic Journal
Volume 5 Number 2 May 2002

Commentary

THE SURPRISING HISTORY OF THE “HR_{max}=220-age” EQUATION

ROBERT A. ROBERGS AND ROBERTO LANDWEHR

Exercise Physiology Laboratories, The University of New Mexico, Albuquerque, NM

ABSTRACT

THE SURPRISING HISTORY OF THE “HR_{max}=220-age” EQUATION. **Robert A. Robergs, Roberto Landwehr.** *JEPonline*. 2002;5(2):1-10. The estimation of maximal heart rate (HR_{max}) has been a feature of exercise physiology and related applied sciences since the late 1930's. The estimation of HR_{max} has been largely based on the formula; HR_{max}=220-age. This equation is often presented in textbooks without explanation or citation to original research. In addition, the formula and related concepts are included in most certification exams within sports medicine, exercise physiology, and fitness. Despite the acceptance of this formula, research spanning more than two decades reveals the large error inherent in the estimation of HR_{max} (S_{xy}=7-11 b/min). Ironically, inquiry into the history of this formula reveals that it was not developed from original research, but resulted from observation based on data from approximately 11 references consisting of published research or unpublished scientific compilations. Consequently, the formula HR_{max}=220-age has no scientific merit for use in exercise physiology and related fields. A brief review of alternate HR_{max} prediction formula reveals that the majority of age-based univariate prediction equations also have large prediction errors (>10 b/min). Clearly, more research of HR_{max} needs to be done using a multivariate model, and equations may need to be developed that are population (fitness, health status, age, exercise mode) specific.

Key Words: Cardiovascular function, Estimation, Error, Exercise prescription, Fitness.

INTRODUCTION

This short manuscript has been written to provide insight into the history of the maximal heart rate (HR_{max}) prediction equation; HR_{max}=220-age. Surprisingly, there is no published record of research for this equation. As will be explained, the origin of the formula is a superficial estimate, based on observation, of a linear best fit to a series of raw and mean data compiled in 1971 (1). However, evidence of the physiological study of maximal heart rate prediction dates back to at least 1938 from the research of Sid Robinson (2).

Research since 1971 has revealed the error in HR_{max} estimation, and there remains no formula that provides acceptable accuracy of HR_{max} prediction. We present the majority of the formulae that currently exist to

estimate HR_{max}, and provide recommendations on which formula to use, and when. We also provide recommendations for research to improve our knowledge of the between subjects variability in HR_{max}.

THE IMPORTANCE OF MAXIMAL HEART RATE

Heart rate is arguably a very easy cardiovascular measurement, especially in comparison to the invasive or noninvasive procedures used to estimate stroke volume and cardiac output. Consequently, measurement of heart rate is routinely used to assess the response of the heart to exercise, or the recovery from exercise, as well as to prescribe exercise intensities (3). Given that the increase in heart rate during incremental exercise mirrors the increase in cardiac output, maximal heart rate is often interpreted as the upper ceiling for an increase in central cardiovascular function. Indeed, research for the last 100 years has demonstrated that heart rate does in fact have a maximal value (4); one that cannot be surpassed despite continued increases in exercise intensity or training adaptations.

Perhaps the most important application of the heart rate response to exercise has been the use of submaximal heart rate, in combination with resting and maximal heart rate, to estimate VO₂max. In many instances, maximal heart rate estimation is recommended by using the formula HR_{max}=220-age. Based on this application, heart rate responses to exercise have been used to calculate exercise intensities, such as a percent of maximal heart rate (%HR_{max}) or a percent of the heart rate reserve (%HRR) (Table 1).

Table 1: Use of heart rate to estimate exercise intensities that coincide with %VO₂max.

%VO ₂ max	% HR _{max}	%HRR*^
40	63	40
50	69	50
60	76	60
70	82	70
80	89	80
90	95	90

*based on Karvonen method (HR=HR_{rest} + ((intended fraction) * (HR_{max} - HR_{rest})));

^%HRR equals the intended fraction expressed as %
Adapted from Heyward V. (5) and Swain et al. (6)

HISTORY OF MAXIMAL HEART RATE PREDICTION

Due to our interest in improving the accuracy of maximal heart rate estimation, we have tried to research the origin of the formula HR_{max}=220-age (Tables 2 and 3). As far as we could determine from books and research, the first equation to predict maximal heart rate was developed by Robinson in 1938 (2). His data produced the equation HR_{max}=212-0.77(age), which obviously differs from the widely accepted formula of HR_{max}=220-age. As we will explain below, there are numerous HR_{max} prediction equations (Table 3), yet it is the history of the HR_{max}=220-age equation that is most interesting.

The Formula: "HR_{max}=220-Age"

Within textbooks, failure to cite the original research regarding the formula HR_{max}=220-age indirectly affirms a connection to Karvonen. This association exists due to the textbook presentation of HR_{max} prediction with the concept of a heart rate reserve, which was devised by Karvonen (3). Ironically, the study of Karvonen was not of maximal heart rate. To clarify, Dr. Karvonen was contacted in August of 2000 and subsequent discussion indicated that he never published original research of this formula, and he recommended that we research the work of Dr. Åstrand to find the original research.

Another citation for the formula is Åstrand (7). Once again, this study was not concerned with HR_{max} prediction. We were able to discuss this topic with Dr. Åstrand in September 2000 while he was in Albuquerque to receive his Lifetime Achievement Award in Exercise Physiology from the American Society of Exercise Physiologists. Dr. Åstrand stated that he did not publish any data that derived this formula. However,

he did comment that in past presentations he had stated that such a formula appears close to research findings, and would be a convenient method to use.

Interestingly, Åstrand published original HRmax data for 225 subjects (115 male, 110 female) for ages 4 to 33 years in one of his earlier texts (8). The data are from either treadmill or cycle ergometer exercise tests to $\dot{V}O_{2\max}$, with no knowledge of protocol characteristics. This data is presented in Figure 1a and b. When data for ages >10 years are used (Figure 1b), there is a significant correlation ($r=0.43$), yet considerable error ($S_{xy}=11$ b/min). The resulting formula is; $HR_{\max} = 216.6 - 0.84(\text{age})$. Despite the similarity of the prediction equation to $HR_{\max}=220-\text{age}$, the notable feature of this data set is the large error of prediction. Interestingly, in two other studies, Åstrand found that the average decrease in HRmax for women was 12 beats in 21 years (9) and 19 beats in 33 years (10). For men, the decrease in HRmax was 9 beats in 21 years (9) and ~26 in 33 years (10). If the formula $HR_{\max}=220-\text{age}$ is correct, the slope for HR decrement with increasing age would be 1. In addition, Åstrand's data

a.

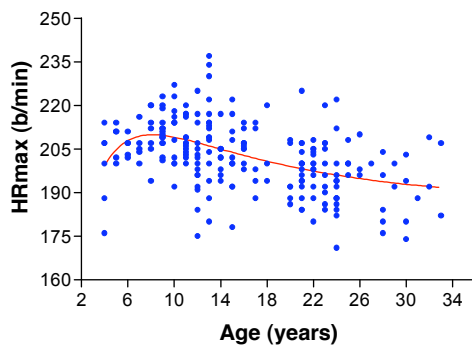


Figure 1: Data of HRmax for a) 225 subjects, 4 to 33 years, and b) a subset of the subjects, ages 11 to 33 years, n=196.

Table 2: The research and textbooks, and the citations used or not used, in crediting the source of the $HR_{\max}=220-\text{age}$ formula.

Publication	Year	Citation
Research		
Engels et al.	1998	Fox & Haskell, 1971
O'Toole et al.	1998	ACSM, 1995
Tanaka	2001	Fox & Haskell, 1971
Vandewalle & Havette	1987	Åstrand, 1986
Whaley et al.	1992	Froelicher, 1987
Textbooks		
ACSM	2001	ACSM, 2000
Baechle & Earle	2000	No Citation
Baumgartner & Jackson	1995	No Citation
Brooks et al.	2000	No Citation
Fox et al.	1989	No Citation
Garret & Kirkendall	2000	No Citation
Heyward	1997	No Citation
McArdle, Katch & Katch	1996	Londeree, 1982
McArdle, Katch & Katch	2000	No Citation
Nieman	1999	No citation
Plowman & Smith	1997	Miller et al. 1993
Powers & Howley	1996	No Citation
Roberts & Roberts	1997	Hagberg et al, 1985
Roberts & Roberts	2000	No Citation
Roberts et al.	1997	Åsmussen, 1959
Rowland	1996	No Citation
Wasserman et al.	1994	No Citation
Wilmore & Costill	1999	No Citation

Prediction of Maximal Heart Rate

4

indicates that HRmax prediction from such formula should not be used on children 10 years or younger, as HRmax follows a different age associated change for children. In addition, the likelihood that children attain a true HRmax during exercise testing can be questioned.

It appears that the correct citation for the origin of $HR_{max}=220-\text{age}$ is Fox et al. (1). However, and as explained by Tanaka et al. (11), Fox did not derive this equation from original research. We evaluated the original manuscript of Fox et al. (1), which was a large review of research pertaining to physical activity and heart disease. In a section subtitled "Intensity", a figure is presented that

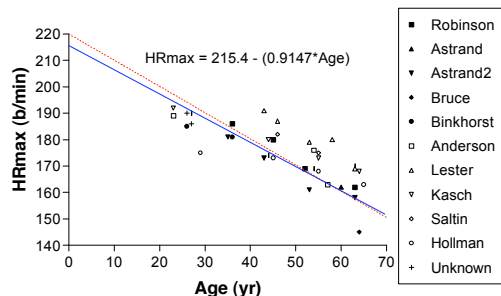


Figure 2. A reproduced figure from the data of Fox et al. (1) which was used to derive the original $HR_{max}=220-\text{age}$ formula. Blue line represents line of best fit. Red line represents $220-\text{age}$.

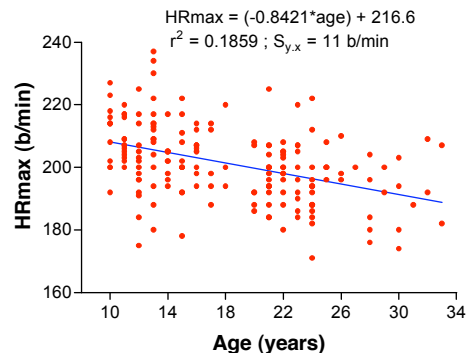
regression to the data set and derived the following equation; $HR_{max}=215.4 - 0.9147(\text{age})$, $r=0.51$, $S_{xy}=21$ b/min. Thus, even the original data from which observation established the $HR_{max}=220-\text{age}$ formula does not support this equation.

REVIEW OF RESEARCH OF MAXIMAL HEART RATE

We retrieved as much of the research on HRmax as is possible. This was a daunting task, as many of the original research and review studies on this topic did not provide complete references, or citations of the original research of this topic. We collated 43 formulae from different studies, and these are presented in Table 3, along with pertinent statistics when possible.

To verify if there was a trend towards the equation $HR_{max}=220-\text{age}$, we selected 30 equations from the ones presented in Table 3 (excluded equations derived from non-healthy subjects). The equations were used to re-calculate HRmax for ages 20 to 100 years of age, and a new regression equation was calculated from the data (Figure 3). The regression equation yielded a prediction formula; $HR_{max}=208.754-0.734(\text{age})$, $r=0.93$ and $S_{xy}=7.2$, which is very close to that derived by Tanaka et al. (11) (Table 3).

b.



contains the data at question, and consists of approximately 35 data points. No regression analysis was performed on this data, and in the figure legend the authors stated that;

"...no single line will adequately represent the data on the apparent decline of maximal heart rate with age. The formula maximum heart rate=220-age in years defines a line not far from many of the data points..."

We decided to replicate the approach used by Fox et al (1), using the original data presented in their manuscript. As we could not find all manuscripts due to inaccurate citations, we reproduced the data from the figure and presented it in Figure 2. We fit a linear

Table 3. The known univariate prediction equations for maximal heart rate.

<i>Study</i>	<i>N</i>	<i>Population</i>	<i>Mean Age (range)</i>	<i>Regression (HRmax=)</i>	<i>r²</i>	<i>Sxy</i>
Univariate Equations						
<i>Astrand, in Froelicher (2)</i>	100	Healthy Men – cycle ergometer	50 (20 - 69)	211-0.922a	N/A	N/A
<i>Brick, in Froelicher (2)</i>	?	Women	N/A	226-age	N/A	N/A
<i>Bruce (12)</i>	1295	CHD	52±8	204-1.07a	0.13	22
<i>Bruce (12)</i>	2091	Healthy Men	44±8	210-0.662a	0.19	10
<i>Bruce (12)</i>	1295	Hypertension	52±8	204-1.07a	0.24	16
<i>Bruce (12)</i>	2091	Hypertension + CHD	44±8	210-0.662a	0.10	21
<i>Cooper in Froelicher (2)</i>	2535	Healthy Men	43(11 - 79)	217-0.845a	N/A	N/A
<i>Ellestad in Froelicher (2)</i>	2583	Healthy Men	42(10-60)	197-0.556a	N/A	N/A
<i>Fernhall (13)</i>	276	Mental Retardation	9-46	189-0.56a	0.09	13.8
<i>Fernhall (13)</i>	296	Healthy W & M	N/A	205-0.64a	0.27	9.9
<i>Froelicher (2)</i>	1317	Healthy Men	38.8(28-54)	207-0.64a	0.18	10
<i>Graettinger (14)</i>	114	Healthy Men	(19-73)	199-0.63a	0.22	N/A
<i>Hammond (15)</i>	156	Heart Disease	53.9	209-age	0.09	19
<i>Hossack (16)</i>	104	Healthy Women	(20-70)	206-0.597a	0.21	N/A
<i>Hossack (16)</i>	98	Healthy Men	(20-73)	227-1.067a	0.40	N/A
<i>Inbar (17)</i>	1424	Healthy W & M	46.7(20-70)	205.8-.685a	0.45	6.4
<i>Jones (18)</i>	100	Healthy W & M cycle ergometer	(15 – 71)	202-0.72a	0.52	10.3
<i>Jones N/A</i>	?	Healthy W & M		210-0.65a	0.04	N/A
<i>Jones (18)</i>	60	Healthy Women	(20-49)	201-0.63a		N/A
<i>Lester (19)</i>	48	W & M Trained		205-0.41a	0.34	N/A
<i>Lester (19)</i>	148	W & M Untrained	43(15 – 75)	198-0.41a	N/A	N/A
<i>Londeree (20)</i>	?	National Level Athletes	N/A	206.3-0.711a	0.72	N/A
<i>Miller (21)</i>	89	W & M Obese	42	200-0.48a	0.12	12
<i>Morris, in Froelicher (2)</i>	1388	Heart Disease	57(21 – 89)	196-0.9a	0.00	N/A
<i>Morris, in Froelicher (2)</i>	244	Healthy Men	45(20 – 72)	200 -0.72a	0.30	15
<i>Ricard (22)</i>	193	Treadmill W&M		209 -0.587a	0.38	9.5
<i>Ricard (22)</i>	193	W & M - cycle ergometer		200 -0.687a	0.44	9.5
<i>Robinson 1938 in Froelicher (2)</i>	92	Healthy Men	30(6 - 76)	212 -0.775a	0.00	N/A
<i>Rodeheffer (23)</i>	61	Healthy Men	25 - 79	214-1.02a	0.45	N/A
<i>Schiller 24)</i>	53	Women Hispanic	46(20-75)	213.7-0.75a	0.56	N/A
<i>Schiller (24)</i>	93	Women Caucasian	42(20-75)	207 -0.62a	0.44	N/A
<i>Sheffield (25)</i>	95	Women	39(19 - 69)	216 -0.88a	0.58	N/A
<i>Tanaka (11)</i>	?	Sedentary W&M		211 -0.8a	0.81	N/A
<i>Tanaka (11)</i>	?	Active W&M		207 -0.7a	0.81	N/A
<i>Tanaka (11)</i>	?	Endurance trained W&M		206 -0.7a	0.81	N/A

Study	N	Population	Mean Age (range)	Regression (HRmax=)	r ²	Sxy
Univariate Equations						
Tanaka (11)		Women & Men		208-0.7a	0.81	N/A
Whaley (26)	754	Women	41.3(14-77)	209-0.7a	0.37	10.5
Whaley (26)	1256	Men	42.1(14-77)	214-0.8a	0.36	10.7

W=women, M=men

Table 4. The known multivariate prediction equations for maximal heart rate.

Study and Equations	r ²
Londeree (20)	
$PMHR = 196.7 + 1.986xC2 + 5.361xE + 1.490xF4 + 3.730xF3 + 4.036xF2 - 0.00006xA^4 - 0.542xA^2$	0.77
$PMHRI = 199.1 + 0.119xAEF4 + 0.112xAE + 6.280xEF3 + 2.468xC2 + 3.485xF2 - 0.00006xA^4 - 0.591xA$	0.78
$PMHRC = 205.3574xT1 + 8.316xE - 7.624xF5 - 0.0004xA^4 - 0.624xA^2$	0.85
$PMHRCI = 205.0.116xAEF3 - 0.223xAF5 + 0.210xAE + 6.876xEF3 + 2.091xC2 - 3.310xT1 - 0.0005xA^4 - 0.654xA$	0.86
$PMHR (National Collegiate Athletes) = 202.8 - 0.533xA - 0.00006xA^4$	0.73

PMHR=predicted maximal heart rate, C=Cross Sectional, I=interaction; a=A=age; A²=age²; A⁴=(age⁴)/1000; C#=continent (if European, then C2=1, otherwise C2=0); E=ergometer (if treadmill, then E=1, if bicycle then E=0); F#=fitness level (if sedentary, F2=1, otherwise F2=0; if active then F3=1, otherwise F3=0; if endurance trained, then F4=1, otherwise F4=0; Type # =type of exercise protocol (if continuous and incremental, then T1=1, otherwise T1=0). Multiple letters interaction terms which should be multiplied together.

Interestingly, Londeree (20) developed a multivariate equation using the variables age, age², age⁴/1000, ethnicity, mode of exercise, activity levels, and type of protocol used to assess HR (Table 4). However, no statistical results pertaining to significant increases in the explanation of variance in HRmax using a multivariate model was provided by the authors. The same criticism applies to the study of Tanaka et al. (11). As Zavorsky (27) showed that endurance training lowers HRmax, and others have shown the exercise mode specificity of HRmax (28,29,30), an original study of HRmax using multiple independent variables is long overdue.

The data from research of HRmax are clear in showing the large error of HRmax prediction using just a y-intercept and slope when age is the sole independent variable. Furthermore, the results and regression equations need to be recognized as being mode-specific (28,29,30). It is unfortunate that the mode-specificity of HRmax prediction equations is not clearly addressed in textbooks of exercise physiology and exercise prescription. Finally, even a multivariate model of HRmax prediction and variance explanation does not reduce the error of HRmax prediction.

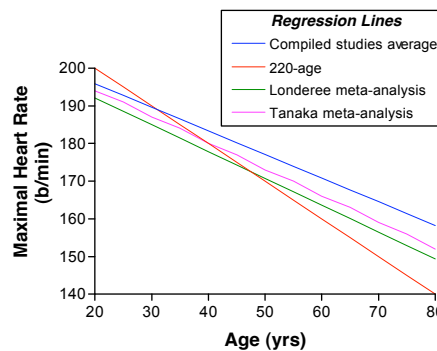


Figure 3. Regression lines from data obtained from 220-age, the mean of 30 studies from Table 3, and the meta analyses of Londeree (28) and Tanaka (47).

What is an Acceptable Error of HRmax Prediction?

Given the precision of HR measurement, the measurement error of HRmax is small and attributable to the exercise protocol and subject motivation. Consequently, HRmax measurement is likely to be accurate to within ± 2 b/min, if the subject truly attains maximal exertion. Nevertheless, another factor to consider is the impact of prediction error on the application of HRmax. For the estimation of two exercise intensities (Table 5), HRmax prediction errors (HRmax–predicted=error) of 2, 4, 6 and 8 b/min cause negligible error. For example, a HR of 150 b/min, which lies in the center of the “true” heart rate prescription range, remains within the recommended heart rate ranges for all error examples. However, as revealed in Table 3, errors in HRmax estimation can be in excess of 11 b/min. Consequently, it is likely that current equations used to estimate HRmax are not accurate enough for prescribing exercise training heart rate ranges for a large number of individuals.

Table 5. Estimations of error in submaximal exercise intensities and VO₂max when using HRmax estimated with errors of 2, 4, 6, and 8 b/min (underestimated prediction of HRmax).

Intensity	HR values For Given HRmax Error (True-Estimated, b/min (%))				
	True	2 (1)	4 (2.1)	6 (3.1)	8 (4.2)
Submaximal exercise intensities					
60-80% HRR	135-164	134-162	133-160	132-159	130-157
VO₂max					
YMCA* (mL/min)	4200	4083	6967	3850	3733
Error (mL/min)	0	117	233	350	467
Error (%)	0	2.8	5.6	8.3	11.11

Calculations are based on assuming a resting heart rate of 50 b/min, for a 25 year old person with a HRmax=192 b/min ; HRR=heart rate reserve ; for YMCA protocol, heart rates and workloads were assumed to be (HR:kgm/min) 90:150, 125:750, 153:1200, respectively.

When the prediction of HRmax is used in the estimation of VO₂max, as it is in the YMCA method, there can be considerable errors in estimated VO₂max (Table 5). For example, when HRmax is underestimated by 6 b/min, there is a resulting error in estimated VO₂max of 350 mL/min. This equates to an error of -8.3%, or -4.7 mL/kg/min for a 75 kg person.

The data of Table 5 help in selecting a suitable error in HRmax estimation. The error can be larger for purposes of prescribing training heart rate ranges than in the estimation of VO₂max. For purposes of prescribing training heart rate ranges, errors ≤ 8 b/min are likely to be acceptable. However, for VO₂max, it can be argued that prediction errors in HRmax need to be $< \pm 3$ b/min.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Based on this review of research and application of HRmax prediction, the following recommendations can be made;

1. Currently, there is no acceptable method to estimate HRmax.
2. If HRmax needs to be estimated, then population specific formulae should be used. However, the most accurate general equation is that of Inbar (17) (Table 3); HRmax=205.8-0.685(age). Nevertheless, the error (Sxy=6.4 b/min) is still unacceptably large.
3. An acceptable prediction error for HRmax for application to estimation of VO₂max is $< \pm 3$ b/min. Thus, for a person with a HRmax of 200 b/min, error equals $\pm 1.5\%$. If this precision is not possible, then there is no justification for using methods of VO₂max estimation that rely on HRmax prediction formulae.

4. Additional research needs to be performed that develops multivariate regression equations that improve the accuracy of HRmax prediction for specific populations, and modes of exercise.

5. The use of HRmax is most prevalent in the fitness industry, and the people who work in these facilities mainly have a terminal undergraduate degree in exercise science or related fields. These students/graduates need to be better educated in statistics to recognize and understand the concept of prediction error, and the practical consequences of relying on an equation with a large standard error of estimate (Sxy).

6. Textbooks in exercise physiology and exercise prescription should contain content that is more critical of the $HR_{max}=220-\text{age}$ or similar formulae. Authors need to stress the mode-specificity of HRmax, provide alternate, research substantiated formula, and express all content of items 1-5, above. Similarly, academic coverage of HRmax needs to explain how this error detracts from using HRmax estimation in many field tests of physical fitness and in exercise prescription.

Address for correspondence: Robert A. Robergs, Ph.D., FASEP, EPC, Director-Exercise Physiology Laboratories, Exercise Science Program, Department of Physical Performance and Development, Johnson Center, Room B143, The University of New Mexico, Albuquerque, NM 87131-1258, Phone: (505) 277-2658, FAX: (505) 277-9742; Email: rrobergs@unm.edu

REFERENCES

1. Fox III, S.M. Naughton, J.P. and Haskell, W.L. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann Clin Res* 1971;3:404-432.
2. Froelicher, V.F. & Myers, J.N. 2000; Exercise and the heart. 4th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
3. Karvonen, M.J., Kentala, E. and Mustala, O. The effects of training on heart rate: a longitudinal study. *Ann Med Exper Fenn* 1957;35(3):307-315.
4. Lusk G. 1928; The elements of the science of nutrition. WB Saunders, Philadelphia.
5. Heyward V. H. 1997; Advanced fitness assessment and prescription. 3rd ed. Human Kinetics, Champaign Illinois.
6. Swain, D. P., Abernathy, K.S., Smith, C.S. Lee, S.J. and Bunn, S.A. Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26 (1):112-116.
7. Wandewalle GP and Havette P. Heart rate, maximal heart rate and pedal rate. *J Sports Med* 1987;27:205-210.
8. Åstrand, P. 1952; Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen, Musksgaard.
9. Åstrand, I., Åstrand, P.-O., Halback, I and Kilbom, A. Reduction in maximal oxygen uptake with age. *J Appl Physiol* 1973;35(5):649 – 654.
10. Åstrand, P.-O., Bergh, U. and Kilbom, A. A 33-yr follow-up of peak oxygen uptake and related variables of former physical education students. *J Appl Physiol* 1997;82(6):1844-1852.
11. Tanaka, H., Monahan, K.G. and Seals, D.S. Age – predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol* 2001;37:153-6.
12. Bruce, R.A., Fisher, L.D., Cooper, M.N. and Grey, G.O. Separation of effects of cardiovascular disease and age on ventricular function with maximal exercise. *Am J Cardiol* 1974;34(7):757-763.
13. Fernhall, B., McCubbin J.A., Pitetti, K.H., Rintala, P., Rimmer, J.H., Millar A.L. and Silva A. Prediction of maximal heart rate in individuals with mental retardation. *Med Sci Sport Exerc* 2001;33(10):1655-1660.
14. Graettinger W.F., Smith D.H.G., Neutel J.M., Myers J., Froelicher V.F. and Weber, M.(1995). Relationship of left ventricular structure to maximal heart rate during exercise. *Chest* 107(2):341-345.
15. Hammond, H.K, Kelly, T.L. and Froelicher, V. Radionuclide imaging correlates of heart rate impairment during maximal exercise testing. *J Am Col Cardiol* 1983;2(5):826-33.

16. Hossack KF and Bruce RA. Maximal cardiac function in sedentary normal men and women: comparison of age-related changes. *J Appl Physiol* 1982;53(4):799-804.
17. Inbar, O. Oten, A., Scheinowitz, M., Rotstein, A., Dlin, R. and Casaburi, R. Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20-70-yr-old men. *Med Sci Sport Exerc* 1994;26(5):538-546.
18. Jones, N.L., Makrides, L., Hitchcock, C., Chypchar, T. and McCartney, N. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis* 1985;131:700-708.
19. Lester, M., Sheffield, L.T. Trammel, P. and Reeves, T.J. The effect of age and athletic training on the maximal heart rate during muscular exercise. *Am Heart J* 1968;76(3):370-376.
20. Londeree, B.R. and Moeschberger, M.L. Effect of age and other factors on maximal heart rate. *Res Quarter Exerc Sport* 1982;53(4):297-304.
21. Miller, W.C., Wallace, J.P. & Eggert, K.E. Predicting max hr and the HR-VO₂ relationship for exercise prescription in obesity. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25(9):1077-1081.
22. Ricard, R.M., Leger, L. and Massicotte, D. Validity of the "220-age formula" to predict maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22(2):Supplement S96(Abstract 575).
23. Rodeheffer, R.J., Gerstenblith, G., Becker, L.C. Fleg, J.L. Weisfeldt, M.L. and Lakatta, E. Exercise cardiac output is maintained with advancing age in healthy human subjects: cardiac dilatation and increased stroke volume compensate for a diminished heart rate. *Circulation* 1984;69(2):203 – 213.
24. Schiller, B.C., Casas, Y.G., DeSouza, A. and Seals, D.R. Maximal aerobic capacity across age in healthy Hispanic and Caucasian women. *J Appl Physiol* 2001;91(3):1048-1054.
25. Sheffield, L.T, Maloof, J.A. Sawyer, J.A. and Roitman, D. Maximal heart rate and treadmill performance of healthy women in relation to age. *Circulation* 1978;57(1):79-84.
26. Whaley, M.W, Kaminsky, L.A, Dwyer, G.B., Getchell, L.H. and Norton, J.A. Predictors of over - and underachievement of age – predicted maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24(10):1173-1179.
27. Zavorsky, G.S. Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Med* 2000;29(1):13-26.
28. Kravitz L., R.A. Robergs, V.H. Heyward, D.R. Wagner and K. Powers. Exercise mode and gender comparisons of energy expenditure at self-selected intensities. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29(8):1028-1035.
29. Tanaka, H. Fukumoto, S. Osaka, Y., Ogawa, S., Yamaguchi, H. and Miyamoto, H. Distinctive effects of three different modes of exercise on oxygen uptake, heart rate and blood lactate and pyruvate. *Int J Sports Med* 1991;12:433-438.
30. Cassady, S. and Nielsen, D.H. Cardiorespiratory responses of healthy subjects to calisthenics performed on land versus in water. *Physical Therapy* 1992;72(7):532-537.
31. Engels, H.J., Zhu, W. and Moffatt, R.J. An empirical evaluation of the prediction of maximal heart-rate. *Res Quart Exerc Sport* 1998;69(1):94-98.
32. O'Toole, M.L., Douglas, P.S. and Hiller, W.D.B. Use of heart monitors by endurance athletes: lessons from triathletes. *J Sports Med* 1998;38:181-187.
33. American College of Sports Medicine 2000; ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
34. American College of Sports Medicine. 2001; ACSM's resource manual: guidelines for exercise testing and prescription. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
35. Baechle, T.R. & Earle, R.W., (editors). 2000; Essentials of strength training and conditioning - NSCA - 2nd ed. Human Kinetics Champaign, Illinois: Human Kinetics.
36. Baumgartner, T.A. & Jackson, A.S. 1995; Measurement for evaluation in physical education and exercise science. 5th ed. Madison, Wisconsin: Wm. C. Brown & Benchmark, Inc.
37. Brooks, G.A., Fahey, T.D., White, T.P. & Baldwin, K.M. 2000; Exercise physiology: human bioenergetics and its applications. 3rd ed. Mountain View, California: Mayfield.
38. Fox, E.L., Bowers, R.W. & Foss, M.L. 1989; The Physiological basis of physical education and athletics, 4th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company.



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE DESPORTO E SAÚDE